

## МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ И ЛОКАЛЬНОГО U-Pb ДАТИРОВАНИЯ МИНЕРАЛА-ГЕОХРОНОМЕТРА БАДДЕЛЕИТА ИЗ ПОРОД ОСНОВНОГО СОСТАВА

Серeda Е.Е., Бережная Н.Г., Родионов Н.В., Львов П.А., Антонов А.В., Сергеев С.А., Беляцкий Б.В.

*Всероссийский Научно-Исследовательский Геологический Институт им. А.П. Карпинского,  
г. Санкт-Петербург*

Проблема датирования пород основного и ультраосновного состава часто связана с отсутствием в этих породах автохтонного циркона, поэтому бадделеит является единственным минералом-геохронометром, пригодным для высокоточного U-Pb датирования пород данного типа.

Бадделеит – простой оксид циркония ( $ZrO_2$ ). Впервые был обнаружен на Шри-Ланке Джозефом Бадделеем в 1892 году. Помимо земных пород встречается в лунных, а также в некоторых ахондритовых метеоритах. Бадделеит земного происхождения образует месторождения в карбонатитах (Ковдор, Палабора), а в качестве акцессорного минерала встречается в самых разнообразных породах: кимберлитах, щелочных сиенитах, породах расслоенных мафических интрузивов, диабазовых дайках, габбровых силлах анортозитах и др. [Bayanova, 2006].

Благодаря достаточным концентрациям урана и отсутствию нерадиогенного Pb бадделеит подходит для уран-свинцового датирования, но из-за низких концентраций минерала в породе, небольших размеров кристаллов (менее 50 мкм) и их уплощенно-вытянутой формы выделение бадделеита в тяжелых жидкостях, как правило, не даёт удовлетворительного результата.

Для выделения монофракции бадделеита в лаборатории ЦИИ «ВСЕГЕИ» СПб используется методика на водной основе, первоначально разработанная в Швеции [Soderlund, 2002]. Освоенная сотрудниками сектора пробоподготовки ЦИИ ВСЕГЕИ, методика была адаптирована и модифицирована.

Первым шагом, гарантирующим успешное выделение, является обнаружение бадделеита в шлифе на сканирующем электронном микроскопе CamScan MX2500 (рис. 1).

Если в шлифе идентифицировано хотя бы одно зерно бадделеита размером более 25-30 микрон, штучный образец подвергается дроблению в соответствии со своей зернистостью и последовательному истиранию и грохочению на ситах для получения фракции менее 100 мкм. Полученный порошок смешивается с детергентом и водой и закладывается на сепарационный стол, режим работы которого подбирается индивидуально для каждого типа проб. Из полученного после разделения на столе концентрата удаляется магнитная фракция, после чего под бинокулярном из навески тяжелой немагнитной фракции в воде вручную выбираются кристаллы бадделеита.

Далее они имплантируются в эпоксидную смолу (шайба диаметром 2.5 см) вместе с зернами междуна-

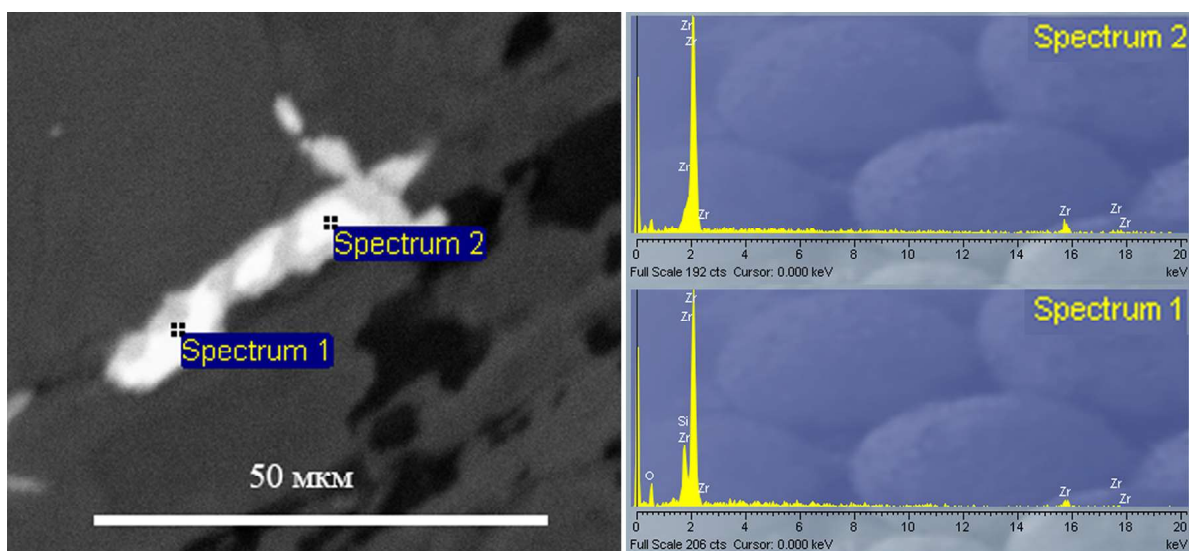


Рис. 1. Фото сростка бадделеита (Spectrum 1) и циркона (Spectrum 2) из габбродолеритов дайкового комплекса Западно-Карельского домена Фенноскандинавского щита и спектры состава точек, полученные на сканирующем электронном микроскопе CamScan MX2500

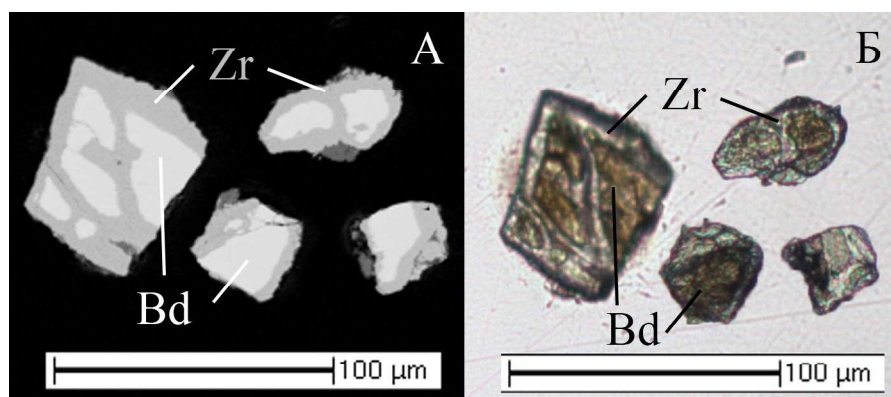


Рис. 2 Изображение сростков бадделеита и циркона из габбродолеритов дайкового комплекса Западно-Карельского домена Фенноскандинавского щита в обратно-отраженных электронах – А, и в проходящем свете – Б

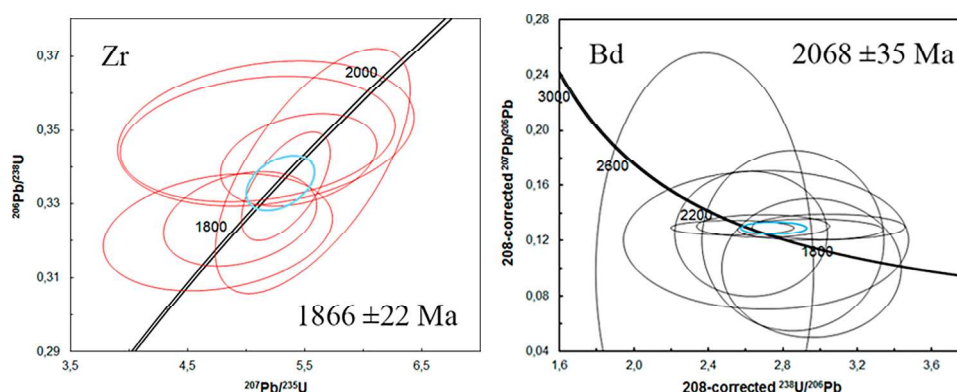


Рис. 3. Изотопные U-Pb диаграммы с конкордией для бадделеита и циркона из габбродолеритов дайкового комплекса Западно-Карельского домена Фенноскандинавского щита

родных стандартов: для нормализации U-Pb отношения используется стандарт бадделеита Phalaborwa, а в качестве концентрационного стандарта – циркон 91500.

Затем на поверхность шайбы наносится токопроводящее золотое покрытие толщиной 150 ангстрем и зерна минералов документируются с использованием сканирующего электронного микроскопа CamScan MX2500 и системы CLI/QUA2 для получения изображений в обратно-отраженных электронах (BSE) и катодолюминесцентных (CL), выявляющих внутреннюю структуру и зональность зёрен минерала.

Датирование осуществляется методом SIMS (вторично-ионная масс-спектрометрия при помощи прибора SHRIMP-II (Sensitive High Resolution Ion Micro Probe), главная область применения которого – локальное высокоточное геохронологическое датирование по аксессуарным минералам. Прибор позволяет также осуществлять измерения концентрации элементов U, Th, Pb, Hf, REE в минералах.

Измерения U-Pb отношений проводятся по принятой в ЦИИ схеме, описанной в работе [Williams, 1998]. Обработка полученных данных осуществляется с помощью программы SQUID [Ludwig, 2001].

Построение графиков Аренса-Везерилла [Wetherill, 1956] с конкордией проводится с использованием программы ISOPLOT/EX [Ludwig, 2003]. Коррекция на нерадиогенный свинец проводится по измеренному  $^{208}\text{Pb}$  и современному изотопному составу свинца в модели Стейси-Крамерса [Stacey and Kramers, 1975].

В качестве примера успешного применения сепарационной методики на водной основе нами был выделен и продатирован бадделеит из пород раннекарельского габбродолеритового дайкового комплекса Западно-Карельского домена Фенноскандинавского щита.

Породы отличаются свежим обликом и массивной текстурой, хотя и локально подверглись довольно интенсивным процессам амфиболитизации, эпидотитизации, хлоритизации и карбонатизации. Из аксессуарных минералов характерны рудные минералы, титанит, ильменит и циркон. Вторичные преобразования являются результатом наложенного метаморфизма эпидот-амфиболитовой фации, либо действием автометасоматоза.

Выделенный из данной породы бадделеит имеет форму обломков со следами гранного комплекса размером до 50 мкм, в которых наблюдаются ростовые

взаимоотношения с цирконом. Бадделеит находится в центральных частях обломков, циркон замещает бадделеит и располагается по периферической части обломков и вдоль трещин. В оптическом изображении бадделеит имеет более темный коричневый цвет, в обратно-отраженных электронах – напротив, обладает более сильным свечением (рис. 2).

По результатам U-Pb датирования для бадделеита был получен конкордантный возраст  $2068 \pm 35$  Ма (рис. 3), содержание U варьирует в диапазоне 33-93, содержание Th варьирует в диапазоне 1-65, Th/U отношение в основном находится в диапазоне 0.02-0.16.

Для циркона был получен конкордантный возраст  $1866 \pm 22$  Ма, содержание U варьирует в диапазоне 15-74, содержание Th варьирует в диапазоне 4-79, Th/U отношение находится в диапазоне 0.12-0.92.

Таким образом был получен как возраст магматической кристаллизации пород, так и возраст метаморфических преобразований.

*Данная работа была проведена в рамках выполнения тематических и опытно-методических работ, связанных с геологическим изучением недр ФГБУ «ВСЕГЕИ» № 049-00009-18-00. Авторы выражают благодарность Мысковой Т.А. за предоставленный геологический материал.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bayanova T.B. Baddeleyite: A Promising Geochronometer for Alkaline and Basic Magmatism // *Petrology*. 2006. V. 14. P. 187-200.
2. Ludwig, K.R. SQUID 1.02, A User Manual, A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley, 2001.
3. Ludwig, K.R. User's Manual for Isoplot/Ex, Version 3.00, A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley, 2003.
4. Soderlund, U., and L. Johansson, A simple way to extract baddeleyite ( $ZrO_2$ ) // *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 2002. V. 3. P. 1-7.
5. Stacey, S. and Kramers, J.D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // *Earth and Planetary Science Letters*. 1975. V. 26. P. 207-221.
6. Wetherill, G.W. Discordant uranium-lead ages // *Transactions, American Geophysical Union*. 1956. V. 37. P. 320-326.
7. Williams, I.S. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe // McKibben, M.A., Shanks III, W.C. and Ridley, W.I. (eds), *Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes* // *Reviews in Economic Geology*. 1998. V. 7. P. 1-35.